



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Erik Koivunen

**Materiaalien saatavuuden varmistaminen  
kokoonpanotuotannossa: puutteiden ehkäisy ja  
hallinta**

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen  
akateeminen yksikkö  
Kandidaatintutkielma,  
tuotantotalous  
Kauppatieteiden kandidaatti

Vaasa 2026

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Erik Koivunen		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Materiaalien saatavuuden varmistaminen koonpanotuotannossa: puutteiden ehkäisy ja hallinta		
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteiden kandidaatti		
<b>Oppiaine:</b>	Tuotantotalous		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Tauno Kekäle		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2026	<b>Sivumäärä:</b>	40

---

**TIIVISTELMÄ:**

Koonpanotuotannossa lopputuotteen valmistuminen on kriittisesti riippuvaista kaikkien komponenttien samanaikaisesta saatavuudesta, eli niin sanotusti BOM-riippuvuudesta. Yksittäisenkin osan puuttuminen voi pysäyttää koko tuotantolinjan, mikä aiheuttaa merkittäviä taloudellisia tappioita kapasiteetin hukkakäytön ja toimitusviiveiden muodossa. Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on tunnistaa materiaalipuutteiden juurisyyt koonpanotuotannossa sekä koota kirjallisuuteen pohjautuva integroitu viitekehys puutteiden ehkäisyyn ja hallintaan.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, ja se analysoi materiaalipuutteiden koko elinkaarta aina niiden syntymisestä toipumiseen ja oppimiseen. Tulosten perusteella materiaalipuutteet juontavat juurensa ulkoisista tekijöistä, kuten toimittajaviiveistä, logistiikkahäiriöistä, sekä sisäisistä tekijöistä, joista merkittävimpiä ovat saldovirheet, kysyntäennustevirheet ja puutteellinen tiedonkulku. Keskeisiksi ehkäisykeinoiksi tunnistettiin strateginen varastonhallinta (ABC-analyysi ja varmuusvarastot), toiminnanohjausjärjestelmän datan laadun varmistaminen sekä proaktiivinen toimittajayhteistyö. Häiriötilanteissa hallinta edellyttää nopeaa priorisointia, tuotannon uudelleenjärjestelyä ja järjestelmällistä juurisyyanalyysia.

Tutkielman keskeisin tuotos on materiaalien saatavuuden varmistamisen integroitu viitekehys, joka yhdistää proaktiiviset ja reaktiiviset hallintakeinot. Viitekehysten ytimessä on oppimissilmukka, jossa häiriöistä saatu tieto muutetaan juurisyyanalyysin kautta proaktiiviseksi suojaksi tulevia häiriöitä varten, mikä parantaa yrityksen operatiivista resilienssiä. Lisäksi työssä määritellään suorituskykymittaristo, joka sisältää muun muassa saldotarkkuuden, OTIF-mittarin ja kassakierron nopeuden seurannan.

---

**AVAINSANAT:** Koonpanotuotanto, materiaalien saatavuus, materiaalipuute, toimitusketjun hallinta, resilienssi, tuoterakenne (BOM), varastonhallinta, tuotannosuunnittelu, MRP

## Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Tutkielman tausta ja ajankohtaisuus	5
1.2	Tutkielman tavoite ja tutkimuskysymykset	6
1.3	Rajaus ja keskeiset käsitteet	7
1.4	Menetelmä ja työn rakenne	7
2	Materiaalien saatavuus kokoonpanotuotannossa	9
2.1	Kokoonpanotuotannon erityispiirteet	9
2.2	Materiaalipuutteiden ulkoiset syyt	10
2.2.1	Toimittajaongelmat ja -häiriöt	10
2.2.2	Logistiikkahäiriöt	11
2.2.3	Toimittajan kapasiteetti-ongelmat	12
2.3	Materiaalipuutteiden sisäiset syyt	13
2.3.1	Kysyntäennustevirheet	13
2.3.2	Saldovirheet ja tiedonhallinnan ongelmat	14
2.3.3	Laadunpoikkeamat ja reklamaatiot	14
2.3.4	Tiedonkulun katkokset	15
2.4	Puutteiden luokittelu	16
3	Materiaalipuutteiden ehkäisy	17
3.1	Varastonhallinta	17
3.1.1	Varmuusvaraston laskenta ja palvelutason optimointi	17
3.1.2	ABC-analyysi	17
3.2	Kysyntäennustaminen	18
3.3	MRP ja tuotannosuunnittelu	19
3.3.1	MRP-järjestelmän logiikka	19
3.3.2	Kapasiteettisuunnittelu	19
3.3.3	Suunnittelun tarkkuus ja päivitystiheys	20
3.4	Toimittajanhallinta	20
3.4.1	Toimittajan suorituskyvyn mittaaminen	21
3.4.2	Varatoimittajat ja varatoimittajien monipuolistaminen	21

3.4.3	Yhteistyö ja tiedonjako toimittajien kanssa	22
3.5	Kanban, kitting ja imuohjaus	22
4	Puutteiden hallinta häiriötilanteessa	24
4.1	Puutetilanteen tunnistaminen ja priorisointi	24
4.2	Tuotannon uudelleenjärjestely	25
4.3	Prosessiparametrien säätö	25
4.4	Pikatilaukset ja hätätoimitukset	26
4.5	Sisäinen viestintä ja toipumissuunnitelma	27
4.5.1	Poikkeamaraportointi ja eskalaatiomalli	27
4.5.2	Tuotannon, hankinnan ja myynnin yhteistyö	28
4.5.3	Juurisyyanalyysi	28
5	Integroitu viitekehys	29
5.1	Materiaalien saatavuuden varmistamisen integroitu viitekehys	29
5.2	Mittarit	31
5.3	Käytännön suositukset yrityksen resilienssin vahvistamiseksi	32
6	Johtopäätökset	35
6.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	35
6.2	Työn rajoitukset	36
6.3	Jatkotutkimusaiheet	36
	Lähteet	37
	Liitteet	40
	Liite 1. Ilmoitus tekoälyavusteisten teknologioiden käytöstä kirjoitusprosessissa	40

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkielman tausta ja ajankohtaisuus

Kokoonpanotuotanto on valmistuksen muoto, jossa lopputuote koostetaan useista erillisistä komponenteista ja osakokonaisuuksista. Tämä asettaa materiaalien saatavuudelle erityisiä vaatimuksia: tuoterakenne (BOM, Bill of Materials) määrittelee tarkasti, mitä osia tarvitaan, missä määrässä ja missä järjestyksessä. Jo yhden komponentin puuttuminen voi pysäyttää koko tuotannon, sillä kokoonpanoprosessi edellyttää, että kaikki määritellyt osat ovat saatavilla samanaikaisesti ennen valmistuksen aloittamista (Clotey & Benton, 2024). Nimikkeiden suuri lukumäärä, tuotevariantit ja vaihteleva kysyntä tekevät materiaalien hallinnasta erityisen haastavaa juuri kokoonpanotuotannossa.

Materiaalipuutteiden taloudelliset seuraukset ovat merkittäviä. Tuotannon keskeytykset aiheuttavat suoria kustannuksia työn ja kapasiteetin hukkakäytöstä, viivästyneet toimitukset heikentävät asiakastyytyväisyyttä ja kilpailukykyä, ja kiireelliset korjaavat toimenpiteet, kuten pikatilaukset tai ylityöt, nostavat tuotantokustannuksia merkittävästi (Silver ja muut, 2017). Viime vuosien globaalit häiriöt, kuten COVID-19-pandemia, ovat entisestään korostaneet toimitusketjun haavoittuvuutta: konttiliikenteen aikataulutäsmällisyys laski globaalisti 43 prosenttia pandemia-aikana, mikä heikensi suoraan teollisuuden tuotantoa sekä tuotantopanosten saatavuuden että vientimarkkinoiden saavutettavuuden kautta (Kali ja muut, 2025). Materiaalien saatavuuden varmistaminen on siten strategisesti keskeinen kysymys kaikille kokoonpanoa harjoittaville yrityksille.

Tämän opinnäytetyön motivaationa on tarve ymmärtää materiaalipuutteiden syntymekanismeja kokoonpanotuotannossa sekä esittää toimivia käytäntöjä niiden ehkäisyyn ja hallintaan. Kirjallisuudessa ehkäisy- ja hallintakeinoja käsitellään usein erikseen, eikä kokonaisvaltaista viitekehystä juuri kokoonpanotuotannon näkökulmasta

ole kattavasti muodostettu. Tämä työ pyrkii täyttämään tämän vajeen kokoamalla yhteen hajallaan olevan tiedon käytännölliseksi kokonaisuudeksi.

## **1.2 Tutkielman tavoite ja tutkimuskysymykset**

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on tunnistaa materiaali puutteiden juurisyyt kokoonpanotuotannossa sekä koota keinot puutteiden ehkäisyyn ja hallintaan kirjallisuuteen pohjautuvan analyysin avulla.

Tätä tavoitetta ohjaa seuraavat tutkimuskysymykset:

TK1: Mitkä ovat materiaali puutteiden yleisimmät syyt kokoonpanotuotannossa, ja miten niitä voidaan ennaltaehkäistä?

TK2: Miten kokoonpanoyritys voi hallita ja toipua materiaali puutteista sen jälkeen, kun häiriö on jo syntynyt?

Ensimmäinen tutkimuskysymys kohdistuu proaktiivisiin toimenpiteisiin: varastonhallintaan, kysynnän ennustamiseen, toimittajan hallintaan ja tuotannonsuunnitteluun. Toinen kysymys käsittelee reaktiivisia keinoja: miten tuotanto voidaan järjestää uudelleen, miten läpimenoaika saadaan palautettua ja miten puutetilanteen vaikutukset minimoidaan. Yhdessä nämä kysymykset muodostavat kokonaisuuden, jolloin ne kattavat materiaali puutteen koko elinkaaren syntymisestä toipumiseen.

Työn konkreettinen tuotos on kirjallisuuteen pohjautuva viitekehys, toimenpidekokonaisuus sekä mittaripaketti, joita kokoonpanoyritykset voivat hyödyntää materiaalien saatavuuden parantamisessa.

### 1.3 Rajaus ja keskeiset käsitteet

Tarkastelu rajataan kokoonpanotuotannon materiaalien saatavuutta varmistaviin operatiivisiin käytäntöihin. Käsiteltäviä aihealueita ovat tuotannosuunnittelu ja -ohjaus, sisäinen logistiikka, materiaaliidat sekä toimittajanhallinta operatiivisella tasolla. Työn ulkopuolelle jäävät strategisen tason kysymykset, kuten koko yrityksen S&OP-prosessin suunnittelu, strateginen hankinta kokonaisuutena sekä laajan toimitusverkoston optimointi.

Työssä käytetyt keskeiset käsitteet määritellään seuraavasti. Materiaalien saatavuus tarkoittaa, että tarvittavat komponentit ja materiaalit ovat käytettävissä oikeassa paikassa, oikeassa määrässä ja oikeaan aikaan tuotantoprosessin tarpeisiin (Silver ja muut, 2017). Materiaalipuute on tilanne, jossa tämä ehto ei täyty, ja tuotanto häiriytyy fyysisen puutteen, saldovirheen, laatupoikkeaman tai ajoitusongelman vuoksi. Palvelutaso kuvaa, kuinka suureen osaan materiaalitarpeista pystytään vastaamaan suunnitellusti ilman viivästystä. Läpimenoaika on aika tilauksen tai tuotantokäskyn antamisesta valmiin tuotteen tai komponentin valmistumiseen. MRP (Material Requirements Planning) on järjestelmä, joka laskee materiaalitarpeet tuoterakenteen, kysynnän ja varastosaldojen perusteella (Jacobs ja muut, 2011). Kanban ja kulutusohjattu ohjaus ovat imuperiaatteeseen pohjautuvia täydennysmekanismeja, joissa materiaali tilataan vasta todellisen kulutuksen perusteella. Kitting tarkoittaa komponenttien valmiiksi keräilyä kokoonpanoa varten.

### 1.4 Menetelmä ja työn rakenne

Tämä kandidaatintutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Menetelmä sopii aiheeseen, koska tavoitteena on koota hajallaan oleva tieto yhdeksi jäsennetyksi kokonaisuudeksi ja muodostaa käytännöllinen viitekehys materiaalipuutteiden ehkäisyyn ja hallintaan. Lähteiden hakuun on käytetty tieteellisiä tietokantoja, kuten Scopusta, Web of Sciencea ja Google Scholaria. Lähteen valintakriteereinä ovat toimineet relevanssi tutkimuskysymysten kannalta, julkaisun laatu (vertaisarvioitu

tieteellinen artikkeli tai vakiintunut oppikirja) sekä ajantasaisuus – ensisijaisesti 2010-luvulta tai uudemmat lähteet, klassisia perusteoksia lukuun ottamatta.

Työ rakentuu seuraavasti. Luku 2 käsittelee materiaalipuutteiden syitä ja seurauksia kokoonpanotuotannossa. Luku 3 tarkastelee ehkäiseviä keinoja: varastonhallintaa, kysynnänennustamista, toimittajanhallintaa ja tuotannosuunnittelua. Luku 4 käsittelee reaktiivisia hallintakeinoja ja toipumismalleja häiriötilanteissa. Luku 5 kokoaa löydökset viitekehyykseksi ja esittää käytännön suositukset. Luku 6 päättää työn johtopäätöksiin, rajoituksiin ja jatkotutkimusaiheisiin.

## 2 Materiaalien saatavuus kokoonpanotuotannossa

### 2.1 Kokoonpanotuotannon erityispiirteet

Kokoonpanotuotannossa lopputuote koostetaan useista erillisistä komponenteista ja osakokonaisuuksista. Tuoterakenne (BOM, Bill of Materials) toimii keskeisenä tiedonrakenteena, joka määrittelee tarkasti kaikki tuotantoon tarvittavat osat, niiden määrät sekä kokoonpanon hierarkian (Mudunuri, 2024). BOM:n hallinta on kriittistä tuotannon tehokkuuden kannalta, sillä virheellinen tai epätarkka tuoterakenne johtaa suoraan materiaalipuutteisiin ja tuotannon keskeytymiseen.

Kokoonpanon erityispiirteenä on sen riippuvuus kaikkien komponenttien samanaikaisesta saatavuudesta. Esimerkiksi autoteollisuudessa yksittäisen ajoneuvon valmistus edellyttää, että kaikki tarvittavat, ovat saatavilla ennen kokoonpanon aloittamista (Clotey & Benton, 2024). Jo yhden komponentin puuttuminen tai viivästyminen voi pysäyttää koko tuotantolinjan, sillä osittainen kokoonpano ei useinkaan ole mahdollista ilman kaikkia määriteltyjä osia.

Tuotevariantit lisäävät entisestään BOM-hallinnan kompleksisuutta. Nykyaikaisissa kokoonpanoympäristöissä tuotteiden räätälöinti ja massakustomointistrategiat mahdollistavat laajan tuotevalikoiman, mutta samalla kokoonpanon ja toimitusketjun prosessit muuttuvat monimutkaisiksi (Hu ja muut, 2008). Jokainen tuotevariantti edellyttää erilaista komponenttiyhdistelmää, mikä asettaa erityisiä vaatimuksia materiaalien saatavuuden varmistamiselle.

Kysyntävaihtelun volatilitietti asettaa merkittäviä haasteita kokoonpanon ja toimitusketjun hallinnalle. Toimitusketjussa esiintyvä kysynnän epävarmuus johtuu useista tekijöistä, kuten markkinatrendeistä ja erityisesti myynninedistämiskampanjoista, jotka vaikeuttavat kysynnän tarkkaa ennustamista. Korkea volatilitietti lisää riskiä tuotepuutteisiin ja aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia varastoinnissa sekä kapasiteetin käytössä. Koska kokoonpanotuotanto on riippuvainen jokaisesta tuoterakenteen

nimikkeestä, kysynnän vaihtelun aiheuttama epävarmuus korostaa tarvetta tarkalle ennustamiselle, jolla voidaan vähentää toimitusketjun eri tasoilla esiintyvää epävarmuutta (Abolghasemi ja muut, 2020).

## **2.2 Materiaalipuutteiden ulkoiset syyt**

Ulkoiset syyt materiaalipuutteisiin ovat tekijöitä, jotka sijaitsevat yrityksen vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella, mutta vaikuttavat suoraan yrityksen kykyyn saada materiaaleja ajallaan. Nämä syyt liittyvät tyypillisesti toimittajien toimintaan, logistiikkaketjuun tai laajempiin globaaleihin häiriöihin. Toimitusketjujen kasvava globalisoituminen ja riippuvuus yksittäisistä toimittajista ovat lisänneet yritysten haavoittuvuutta ulkoisille häiriöille (Christopher & Peck, 2004).

### **2.2.1 Toimittajaongelmat ja -häiriöt**

Nykypäivän globaaleilla markkinoilla yritykset luottavat yhä enemmän monimutkaisiin toimitusketjuihin pysyäkseen kilpailullisina. Tämän monimutkaisuuden käänköpuolena on haavoittuvuus: mitä pidemmät ja monivaiheisemmat toimitusketjut ovat, sitä enemmän yksittäiset häiriöt voivat vaikuttaa koko ketjuun. Toimittajien luotettavuus, kuten kokoonpano-osien oikea-aikainen ja oikeamääräinen toimitus on kriittistä tuotantoteollisuudessa (Kanyepe ja muut, 2025).

Kirjallisuudessa toistuu keskeinen jännite, missä yrityksillä on usein valittavanaan toimittajia, joilla on pitkät toimitusajat, mutta alhaiset hinnat, tai luotettavampia toimittajia korkeammilla hinnoilla (Jiang ja muut, 2025). Kustannuspaineiden vuoksi yritykset päätyvät usein valitsemaan edullisemmän vaihtoehdon, mikä altistaa niitä toimitushäiriöille. Tämä kustannus-luotettavuus-kompromissi on yksi keskeinen selitys sille, miksi toimittajaviiveet ovat niin yleisiä käytännössä, vaikka niiden riskit tunnetaan hyvin. Lisäksi toimittajan taloudellinen epävakaus tai jopa konkurssi voi keskeyttää materiaalien saannin kokonaan ja pakottaa yrityksen etsimään vaihtoehtoisia

hankintakanavia kiireellä, mikä on kokoonpanotuotannossa erityisen ongelmallista BOM-riippuvuuden takia.

Ambulkar ja muut (2015) korostavat, että yritysten kyky selviytyä toimittajahäiriöistä riippuu pitkälti siitä, kuinka hyvin ne ovat etukäteen varautuneet näihin tilanteisiin. Tämä havainto on tämän työn kannalta keskeinen: toimittajaviiveet eivät ole vain operatiivinen ongelma, vaan strateginen kysymys, johon voidaan vaikuttaa ennakoivilla toimenpiteillä. Näitä käsitellään tarkemmin luvussa 3.

### **2.2.2 Logistiikkahäiriöt**

Kuljetusten ja satamien häiriöt ovat keskeinen ulkoinen syy materiaalipuutteille. Satamien ruuhkautuminen syntyy, kun palvelujen kysyntä ylittää kapasiteetin, mikä johtaa laivojen jonotukseen, pidempiin odotusaikoihin ja viivästyneisiin lähtöihin (Michail & Melas, 2025). Nämä viivästykset eivät jää satamiin, vaan leviävät koko toimitusketjuun: tuotantoaikataulut häiriintyvät, varastointitarpeet kasvavat ja kuljetuskustannukset nousevat. Dolgui ja Ivanov (2021) kuvaavat tätä ilmiötä aaltoiluefektiksi, jossa alkuperäinen häiriö moninkertaistuu ketjussa eteenpäin siirtyessään.

COVID-19-pandemia osoitti konkreettisesti logistiikkajärjestelmien haavoittuvuuden: konttiliikenteen aikataשמällisyys laski globaalisti 43 prosenttia, mikä heikensi suoraan teollista tuotantoa (Kali ja muut, 2025). Satamien ruuhkautumisen taloudelliset vaikutukset ovat merkittäviä: on havaittu, että 17,6 prosentin parannus Aasian satamien ruuhkautumisessa osui samaan aikaan 26 prosentin laskun kanssa rahtikustannuksissa (Michail & Melas, 2025). On kuitenkin huomioitava, että kyseinen tutkimus keskittyy nimenomaan Aasian satamiin, joten tulosten suora yleistäminen globaaleihin tai eurooppalaisiin toimitusketjuihin edellyttää varovaisuutta.

Logistiikkahäiriöt eivät johdu pelkästään kapasiteettiongelmistä, vaan myös geopoliittisista tekijöistä. Punameren konfliktit ovat pakottaneet aluksia kiertoreiteille

Afrikan mantereen kautta, mikä pidentää kuljetusaikoja ja nostaa kustannuksia merkittävästi. Tämä osoittaa, että logistiikkariskit ovat luonteeltaan hyvin erilaisia kuin toimittajariskit: niihin on vaikeampi varautua sisäisin toimenpitein, ja ne voivat tapahtua täysin yllättäen. Tästä syystä logistiikkahäiriöitä käsitellään tässä työssä erillisenä ulkoisen riskin lähteenä.

### **2.2.3 Toimittajan kapasiteettiongelmat**

Toimittajan kapasiteettiongelmat ovat yksi merkittävimmistä ulkoisista materiaalipuutteiden aiheuttajista kokoonpanotuotannossa. Kapasiteettirajoitteet voivat syntyä toimittajan tuotantolaitoksen ylikuormittumisesta, äkillisistä tuotantokatkoksista esimerkiksi laiterikkojen tai työvoimapulan seurauksena, tai raaka-ainepuutteista toimittajan omassa toimitusketjussa. Epäluotettava toimittaja heijastuu suoraan tilaajayrityksen kykyyn ylläpitää tasaista tuotantoa, ja toistuvat kapasiteettirajoitteet tekevät materiaalivirtaan liittyvästä suunnittelusta epäluotettavaa (Jiang ja muut, 2025).

Kapasiteettiongelmat eivät rajoitu pelkästään toimitettujen määrien pienenemiseen, vaan ne voivat aiheuttaa epävarmuutta koko tuotannosuunnitteluprosessiin. BOM-riippuvuuden takia yhden avaintoimittajan kapasiteetin pettäminen voi pysäyttää koko kokoonpanolinjan, vaikka puute koskisi vain yhtä komponenttia. Clotey ja Benton (2024) kuvaavat, kuinka sirukomponenttien saatavuuskriisi pysäytti autoteollisuuden kokoonpanolinjoja globaalisti, kun muutaman avaintoimittajan kapasiteetti ei riittänyt vastaamaan kysyntään. Tapaus on poikkeuksellinen mittakaavaltaan, mutta se havainnollistaa selkeästi mekanismin, joka pätee myös pienemmässä mittakaavassa.

Laajemmassa mittakaavassa Kali ja muut (2025) osoittavat, että toimitusketjuhäiriöt, mukaan lukien toimittajakapasiteetin pettäminen, vaikuttivat suoraan Yhdysvaltojen teolliseen tuotantoon. Dolgui ja Ivanov (2021) puolestaan toteavat, että kapasiteettihäiriöt leviävät toimitusketjussa aaltoiluefektin kautta, jolloin alkuperäinen ongelma moninkertaistuu. Yhdessä nämä havainnot osoittavat, että toimittajan

kapasiteettiongelmat ovat luonteeltaan systeeminen riski, ei pelkästään yksittäinen operatiivinen haaste. Ambulkar ja muut (2015) lisäävät, että yrityksen kyky selviytyä kapasiteettihäiriöistä riippuu merkittävästi siitä, onko se rakentanut toimittajasuhteisiinsa riittävää joustavuutta etukäteen. Tämä havainto johtaa suoraan luvun 3 proaktiivisiin keinoihin, kuten varatoimittajastrategioihin ja toimittajan suorituskyvyn seurantaan.

## **2.3 Materiaalipuutteiden sisäiset syyt**

Sisäiset syyt juontavat juurensa juuri toimitusketjujen monimutkaisuuteen. Nykypäivän yritysten tuotekirjo on laajimmillaan kuin koskaan. Samastakin tuotteesta saattaa löytyä satoja eri variaatioita. Hu ja muut (2008) osoittavat, että esimerkiksi yhdellä saman mallisella autolla voi olla jopa  $10^{17}$  erilaista konfiguraatiota. Mitä enemmän variaatioita, sitä enemmän nimikkeitä, ennusteita ja tietovirtoja täytyy hallita, ja sitä enemmän mahdollisuuksia inhimillisille virheille ja tiedonkulun katkoksille, joita käsitellään seuraavissa alaluvuissa.

### **2.3.1 Kysyntäennustevirheet**

Kysyntäennustevirheet ovat yleensä perustavanlaatuinen sisäinen syy, eivätkä vain satunnaisia virheitä. Tuotannon ja kapasiteetin monimutkaisuuden takia, niitä on rakenteellisesti vaikea välttää. Abolghasemi ja muut (2020) osoittavat, että kysynnän volatilitteetti on luontaista, sillä kuluttajien käyttäytyminen muuttuu jatkuvasti. Tämä vaikuttaa negatiivisesti kysynnän ennustamiseen ja aiheuttaa sekä ylivarastointia että turhia kustannuksia kapasiteetin käyttöasteessa. Hu ja muut (2008) osoittavat, että laajojen tuotevariaatioiden myötä ennustettavien nimikkeiden määrä kasvaa merkittävästi, mikä vaikeuttaa tarkkaa kysyntäarviointia entisestään.

Tämä heijastuu suoraan BOM-pohjaisten materiaalitilausten arviointiin. Kysynnän vaihtelun myötä tilausmäärät voivat olla liiallisia tai puutteellisia, jolloin joko varastot kasvavat tarpeettomasti tai koko tuotantolinja keskeytyy komponenttipuutteen takia.

### **2.3.2 Saldovirheet ja tiedonhallinnan ongelmat**

Saldovirheet ovat vaarallisempia kuin miltä näyttävät, sillä koko MRP-järjestelmä tukeutuu näihin lukuihin ja tekee niiden perusteella automaattisesti virheellisiä päätöksiä. MRP laskee tilausmäärät saldotietojen perusteella. Mikäli saldotietojen mukaan materiaalia on enemmän kuin todellisuudessa, tilauksen tekeminen viivästyy, jolloin komponentit saapuvat liian myöhään ja BOM-riippuvuuden takia koko tuotantolinja pysähtyy. Mikäli taas saldojen mukaan materiaalia on liian vähän, järjestelmä tilaa tarpeettomasti ylimääräistä materiaalia, joka päättyy varastoon käyttämättömänä ja nostaa varastointikustannuksia.

Jacobs ja muut (2011, s. 209) osoittavat, että jo yhden komponentin saldovirhe voi aiheuttaa virheellisiä suunnitelmia, jotka leviävät läpi koko tuoterakenteen ja virhe paljastuu vasta, kun kokoonpanolinja pysähtyy. Kirjoittajat korostavat, että korkea datan laatu on MRP:n toimivuuden ensisijainen edellytys eikä vain toivottava ominaisuus (Jacobs ja muut, 2011, s. 220). Saldovirheiden ehkäisy on siksi yksi keskeisimmistä sisäisistä keinoista varmistaa materiaalien saatavuus, mitä käsitellään tarkemmin osana integroitua viitekehystä luvussa 5.

### **2.3.3 Laadunpoikkeamat ja reklamaatiot**

Laadunpoikkeamat voivat hetkessä muuttaa olemassa olevan varaston arvon käyttökelvottomaksi, ilman että MRP-järjestelmä reagoi siihen automaattisesti. Kun linjalla havaitaan laadunpoikkeama, joka johtaa materiaalin käyttökelvottomuuteen, syntyy jälleen tilanne, jossa tuotteen BOM-riippuvuus pysäyttää koko tuotantolinjan, sillä komponenttia ei ole.

Jacobs ja muut (2011, s. 208–209) havainnollistavat, kuinka jo muutaman komponentin sisäinen hylkäys ilman asianmukaista kirjausta johtaa siihen, että MRP jatkaa suunnittelua virheellisten tietojen pohjalta ja puute paljastuu vasta kokoonpanolinjalla.

Laadunpoikkeamista aiheutuvat seuraukset eivät rajoitu pelkkään tuotannon pysähtymiseen. Viivästykset häiritsevät kassavirtaa ja nostavat kustannuksia pikatoimitusten muodossa (Kanyepe ja muut, 2025).

Mikäli laadunpoikkeama havaitaan vasta asiakkaan reklamaation kautta, syntyy lisäksi äkillinen lisätarve samoille komponenteille tilanteessa, jossa tuotanto on jo suunniteltu eteenpäin, jolloin tämä tekee laadunpoikkeamista erityisen hankalia hallita reaktiivisesti, mitä käsitellään luvussa 4.

#### **2.3.4 Tiedonkulun katkokset**

Tiedonkulun katkokset tuotannon ja hankinnan välillä ovat vaarallisia, sillä molemmat yksiköt tukeutuvat toistensa kanssa jakavaan tietoon. Mikäli tuotannolla ja hankinnalla on eri käsitys materiaalien tilasta, materiaali puute on käytännössä väistämätön. Jos tuotantolinja havaitsee äkillisen materiaali puutteen mutta ei ilmoita siitä hankinnalle välittömästi, tilaus viivästyy ja tuotanto pysähtyy.

Jacobs ja muut (2011, s. 21–22) kuvaavat, kuinka tuotannon, hankinnan ja myynnin toimiminen erillisinä siiloina ilman yhteistä tiedonjakoa johtaa tilanteeseen, jossa kukin funktio optimoi omaa toimintaansa koko järjestelmän kustannuksella: hankinta ostaa liikaa, tuotanto valmistaa väärää tavaraa ja materiaali puutteet syntyvät koordinaation puutteesta.

Kysyntäennustevirheet ja saldovirheet ovat suunnittelujärjestelmän tietopohjan ongelmia, kun taas laadunpoikkeamat ovat fyysisiä tapahtumia, jotka muuttuvat tietopohjan ongelmaksi vasta kirjaamisviiveen kautta. Sen sijaan tiedonkulun katkokset voivat aiheuttaa materiaali puutteita, vaikka sekä fyysinen varasto että tietojärjestelmä olisivat täysin oikeassa tilassa, jolloin ongelma ei ole datassa vaan ihmisten ja osastojen välisessä koordinaatiossa. Tämä tekee tiedonkulun katkoksista rakenteellisesti erilaisen haasteen kuin muut sisäiset syyt, ja siksi niiden ehkäisy edellyttää organisatorisia ratkaisuja pelkkien teknisten korjausten sijaan, mitä käsitellään tarkemmin luvussa 3.

## 2.4 Puutteiden luokittelu

Materiaalipuutteet eivät ole homogeeninen ilmiö, vaan niiden luonne vaihtelee syntyvän mukaan. Tässä työssä puutteet jaetaan neljään luokkaan syntytapansa perusteella: fyysinen puute, saldovirhe, laadunpoikkeama ja ajoitusongelma.

Fyysiset puutteet ja ajoitusongelmat ovat operatiivisia häiriöitä, mutta voivat johtua myös tietopohjan ongelmista. Saldovirheet ja laadunpoikkeamat ovat tietopohjaisia häiriöitä, mutta voivat riippua myös operatiivisista ongelmista. Tässä huomataan, että puutteiden luokittelu ei ole sama asia kuin puutteiden syy.

Puutteiden luokittelun avulla voidaan tarkemmin paneutua siihen, miten juuri näitä puutteita ehkäistään (luku 3) ja miten niitä hallitaan häiriötilanteissa (luku 4)

### **3 Materiaalipuutteiden ehkäisy**

Luku 3 käsittelee puutteiden ehkäisyä varastonhallinnan, kysynnän ennustamisen, tuotannosuunnittelun sekä toimittajayhteistyön näkökulmista. Tavoitteena on analysoida ja syntetisoida proaktiivisia keinoja, joilla materiaalien saatavuus voidaan varmistaa ja optimoida palvelutaso. Luvussa tarkastellaan menetelmiä, kuten ABC-analyysiä, ennustemalleja, MRP-logiikkaa sekä imuohjausta.

#### **3.1 Varastonhallinta**

Varastonhallinnan tavoitteena on ylläpitää varastojen sisältöä niin, että materiaalipuutteita ei synny. Komponentteja on oltava varastossa tarpeeksi nykyisille ja tuleville tilauksille, jolloin tuotantolinjalle ei tule katkoksia. Varmuusvaraston on myös oltava paikoillaan, sillä kysyntä muuttuu jatkuvasti. Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi, miten tämä toteutetaan käytännössä.

##### **3.1.1 Varmuusvaraston laskenta ja palvelutason optimointi**

Silver ja muut (2017, s. 26–27) kuvailevat varmuusvarastoa tarkoituksellisesti ylläpidettäväksi puskuriksi kysynnän ja toimitusajan epävarmuuden varalta. Varmuusvarastoa käytetään silloin kun kysyntä nousee äkillisesti tai toimittajan toimitus viivästyy. Varmuusvaraston avulla BOM-riippuvaiset tilaukset eivät pysäytä tuotantolinjaa yhden puuttuvan nimikkeen takia, kun kysyntä nousee yllättäen. Toisaalta varmuusvarastoja ei tarvita, kun tulevan kysynnän määrä ja tilauksen täydellisen toimituksen kesto ovat varmasti tiedossa (Silver ja muut, 2017, s. 26–27). Koska kysyntä ja toimitusajat eivät koskaan ole varmasti tiedossa kokoonpanotuotannossa, varmuusvarasto on välttämätön.

##### **3.1.2 ABC-analyysi**

ABC-analyysi on menetelmä, jossa kokoonpanotuotannon osat tai materiaalit luokitellaan A-, B- ja C-luokkiin niiden arvon tai tärkeyden perusteella. Luokka A kuvaa

materiaaleja, joilla on suurin vuotuinen kustannusvolyymi, luokka B kuvaa materiaaleja, joilla on keskinkertainen volyymi ja luokka C kuvaa materiaaleja, joilla on alhainen volyymi (Jacobs ja muut, 2011, s. 439).

Luokittelu ehkäisee materiaalipuutteita tunnistamalla tärkeimmät komponentit sekä kehittämällä niille parannettuja ennustemenetelmiä ja tilausajankohdan analysointia (Jacobs ja muut, 2011, s. 439). Näin kriittisimmät osat eivät lopu kesken eikä tuotanto pysähdy BOM-riippuvaisuuden takia. Se miten ABC-analyysiä käytetään kriittisten komponenttien tunnistamiseen, käydään läpi tarkemmin luvussa 5.

### **3.2 Kysyntäennustaminen**

Kysynnän ennustaminen on keskeinen työkalu materiaalipuutteiden ehkäisyssä, koska se varmistaa, että oikeat komponentit ovat oikeaan aikaan saatavilla. Ilman systemaattista ennustamista kokoonpanotuotanto altistuu helposti seisokeille, viivästyksille ja toimitusongelmille.

Kysyntä on tärkeä tieto toimitusketjun hallinnassa, ja sen jakaminen sekä ennustaminen auttavat merkittävästi suunnittelussa ja päätöksenteossa. Kysyntäennusteita käytetään perustana monille toimitusketjun päätöksille, kuten kysynnän suunnittelulle, tilausten toteutukselle, tuotannon suunnittelulle ja varastonhallinnalle (Abolghasemi ja muut, 2020). Yksikin materiaalipuute BOM-riippuvaisessa kokoonpanossa voi pysäyttää koko tuotantolinjan. Mikäli ennuste on väärin, niin komponentteja tilataan väärä määrä, jolloin tuotantolinja pysähtyy puutteesta tai varastot kasvavat tarpeettomiksi. Monesti käytössä on aikasarja-analyysit, mutta Abolghasemi ja muiden (2020) mukaan aikasarja-analyysit eivät yksinään riitä ennustamaan kysyntää volatilititeetin takia, joten ennustemenetelmien valinta on tärkeää ja tämä kytkeytyy suoraan MRP-logiikkaan, jota käsitellään luvussa 3.3.

### **3.3 MRP ja tuotannosuunnittelu**

MRP-järjestelmän tarkoitus on varmistaa, että tarvittavia komponentteja on oikea-aikaisesti saatavilla ajoittamalla hankinnat ja tuotanto kysynnän mukaan. MRP on erityisen tärkeä kokoonpanotuotannossa, koska tuotteet koostuvat useista eri komponenteista, joiden saatavuus ja ajoitus on synkronoitava tarkasti (Jacobs ja muut, 2011, s. 182).

#### **3.3.1 MRP-järjestelmän logiikka**

MRP-järjestelmä tarvitsee toimiakseen laadukasta perusdataa. Jacobs ja muut (2011, s. 183–184) toteavat, että järjestelmä tarvitsee kolmea keskeistä perustietoa: tuoteluettelon eli BOM:n, josta käy ilmi tarvittavat komponentit, sekä tiedot nykyisestä varastotilanteesta. Varastotietojen avulla tiedetään, kuinka paljon kutakin osaa on varastossa, kuinka monta niistä on jo varattu olemassa oleviin tarpeisiin ja kuinka monta on jo tilattu. Lisäksi MRP tarvitsee päätuotantosuunnitelman (MPS), joka määrittää, mitä tuotteita valmistetaan ja milloin. Näiden syötetietojen perusteella MRP laskee materiaalien nettotarpeet, määrittää eräkokojen mukaiset tilausmäärät ja ajoittaa hankinta- sekä valmistusehdotukset läpimenoaikojen perusteella siten, että tarvittavat materiaalit ovat käytettävissä oikeaan aikaan.

MRP-logiikka toimii vain niin hyvin kuin sen syötedata, minkä vuoksi datan laadun varmistaminen on kriittistä koko järjestelmän toiminnalle.

#### **3.3.2 Kapasiteettisuunnittelu**

Kapasiteetin tarve- ja suunnitteluprosessi (CRP) on tuotannosuunnittelun menetelmä, jossa MRP-järjestelmän tuottamat materiaaliarvelaskelmat sovitetaan tuotannon todelliseen resurssikapasiteettiin. Sen avulla arvioidaan, riittävätkö työpisteiden ja resurssien kapasiteetit suunniteltujen tuotantotilausten toteuttamiseen ottaen huomioon tuotantoreietykset, aikastandardit, läpimenoajat sekä avoimet ja suunnitellut

tilaukset. Lisäksi CRP huomioi keskeneräisen tuotannon nykytilan, jolloin kapasiteetin tarve kohdistetaan vain jäljellä olevaan työhön (Jacobs ja muut, 2011, s. 250–252).

Tämä on materiaalipuutteiden ehkäisyn kannalta keskeistä, sillä ilman realistista kapasiteettitarkastelua materiaaliarvesuunnitelmat voivat perustua aikatauluihin, joita tuotanto ei kykene toteuttamaan. Tällöin työvaiheiden viivästyminen siirtää materiaalien todellista tarveajankohtaa ja saattaa johtaa materiaalipuutteisiin tuotannossa. CRP:n tehtävänä on siten varmistaa, että materiaalisuunnittelu ja tuotannon kapasiteetti ovat keskenään yhteensopivia ja toteuttamiskelpoisia. Tähän liittyy vahvasti suunnittelun tarkkuus ja päivitystiheys, jota käsitellään seuraavassa alaluvussa.

### **3.3.3 Suunnittelun tarkkuus ja päivitystiheys**

MRP:n toiminta perustuu oletukseen, että järjestelmän käyttämä tieto vastaa todellista tuotanto- ja toimitustilannetta. Käytännössä toimintaympäristö muuttuu kuitenkin jatkuvasti: toimittajien toimitukset voivat viivästyä, asiakaskysyntä muuttua, tuotannossa voi esiintyä häiriöitä ja materiaalien kulutus poiketa ennusteista. Kun nämä muutokset eivät päivity riittävän nopeasti MRP-järjestelmään, järjestelmä jatkaa materiaalien ja tuotannon suunnittelua vanhentuneen tiedon perusteella. Tällöin materiaaliarpeet, toimitusajankohdat ja tuotannon kapasiteetti eivät enää vastaa todellista tilannetta, mikä voi johtaa materiaali- ja tuotannon keskeytyksiin ja toimitusviiveisiin. Jacobsin ja muiden (2011, s. 221) mukaan MRP-järjestelmät ajavat suunnittelun tyypillisesti päivittäin tai viikoittain, mikä tarkoittaa, että päivitystiheys on sovitettava toimintaympäristön muutosnopeuteen. Näin materiaalit ovat saatavilla, kun niitä tarvitaan eivätkä turhaan vie varastotilaa.

## **3.4 Toimittajanhallinta**

Monet yritykset, kuten autovalmistajat hankkivat tuotteitaan matalan kustannustason maista kustannussäästöjen vuoksi. Tällainen hankintamalli altistaa yritykset kuitenkin odottamattomille toimitushäiriöille, minkä vuoksi yrityksillä on usein myös

varatoimittajia, jotka ovat luotettavampia ja kykenevät nopeisiin toimituksiin korkeammista kustannuksista huolimatta (Jiang ja muut, 2025).

Proaktiivinen toimittajahallinta ehkäisee materiaalipuutteita, koska sen avulla yritys pystyy tunnistamaan toimitusriskejä ennakolta, kehittämään vaihtoehtoisia hankintakanavia sekä reagoimaan poikkeamiin ennen kuin ne vaikuttavat tuotantoon. Toimittajien kanssa jatkuva yhteistyö mahdollistaa sen, että MRP-järjestelmät saavat tarvitsemaansa laadukasta dataa, jonka avulla tuotanto voidaan ajoittaa optimaalisesti. Varatoimittajat mahdollistavat materiaalien saatavuuden, mikäli varsinaisella toimittajalla tuotanto keskeytyy ja mittaaminen varmistaa, että riskit havaitaan ajoissa ennen puutteita (Jiang ja muut, 2025). Tämän takia toimittajahallinta on myös strateginen kysymys operatiivisen ohella.

#### **3.4.1 Toimittajan suorituskyvyn mittaaminen**

Toimittajien suorituskyvyn systemaattinen mittaaminen parantaa materiaalien toimitusaikadatan laatua, mikä mahdollistaa MRP-järjestelmän tarkemman materiaalitarpiden ennustamisen BOM-riippuvaisessa tuotannossa. Ilman luotettavaa toimitusdataa materiaalipuutteet voivat aiheuttaa tuotannon viivästymisiä tai pahimmillaan koko tuotannon pysähtymisen. Yksi keskeisimmistä toimittajien suorituskykymittareista on OTIF (On-Time In Full). Tianin ja muiden (2024, s. 5) mukaan OTIF:n avulla voidaan arvioida toimittajien luotettavuutta, mitata tuotannon ja logistiikan tehokkuutta sekä tunnistaa toimitusketjun pullonkauloja. OTIF-seuranta mahdollistaa myös poikkeamiin reagoinnin ajoissa esimerkiksi aktivoimalla varatoimittajia ennen kuin materiaalipuutteet vaikuttavat tuotantoon.

#### **3.4.2 Varatoimittajat ja varatoimittajien monipuolistaminen**

Varatoimittajaverkoston rakentaminen etukäteen alentaa riskiä, kun varsinainen toimittaja ei kykene toimittamaan tilauksia ajoissa. Se ehkäisee materiaalipuutteita, koska etukäteen hyväksytyillä varatoimittajilla laatu on jo varmennettu, jolloin

häiriötilanteessa voidaan siirtyä suoraan tilaukseen ilman aikaa vievää toimittajan arviointiprosessia. Kanyepe ja muiden (2025) mukaan yrityksillä pitäisi olla vähintään kolme eri toimittajaa per tuoteryhmä. Näin koko tuotanto ei ole riippuvainen yhdestä toimittajasta ja riskit materiaalipuutteisiin vähenevät.

### **3.4.3 Yhteistyö ja tiedonjako toimittajien kanssa**

Tiivis yhteistyö ja tiedonjako toimittajan kanssa parantavat toimitusketjun ennakoitavuutta ja ehkäisevät puutetilanteita ennen kuin ne eskaloituvat tuotantohäiriöiksi. Kun yritys jakaa toimittajalle reaaliaikaista tietoa ennusteistaan, varastotasoistaan ja tuotantosuunnitelmistaan, toimittaja voi varautua tuleviin tarpeisiin omassa kapasiteettisuunnittelussaan sen sijaan, että reagoisi kysyntäpiikkeihin viiveellä (Jacobs ja muut, 2011). Avoin tiedonjako luo myös luottamusta, joka madaltaa kynnystä viestiä häiriöistä välittömästi, jolloin ratkaisuja, kuten vaihtoehtoisia materiaaleja tai joustavia toimitusaikoja, etsitään kumppanuutena eikä vastakkainasetteluna.

Toimittajan suorituskyvyn mittaaminen, varatoimittajaverkosto ja tiivis yhteistyö muodostavat yhdessä proaktiivisen toimittajanhallinnan kokonaisuuden. Yksittäisenä työkaluna mikään näistä ei riitä, jolloin mittaaminen tunnistaa ongelmat, varatoimittajat tarjoavat vaihtoehdon ja yhteistyö ehkäisee häiriöt jo ennen niiden syntymistä (Kanyepe ja muut, 2025).

### **3.5 Kanban, kitting ja imuohjaus**

Imuohjauksen periaatteessa materiaalin täydennys käynnistyy vasta todellisen kulutuksen perusteella, toisin kuin MRP-pohjaisessa työntöohjauksessa, jossa täydennykset perustuvat ennusteisiin (Gross & McInnis, 2003, s. 2–3).

Kanban on imuohjaukseen perustuva täydennysmenetelmä, jossa tuotanto käynnistyy vasta todellisen kulutuksen perusteella ennusteiden sijaan. Visuaaliset signaalit, kuten kortit tai tyhjt säilytysastiat laukaisevat täydennystilauksen, kun varastotaso laskee

ennalta määritellylle tasolle. Tämä ehkäisee ylituotantoa ja varastopuutteita (Gross & McInnis, 2003, s. 2–3). Kanban soveltuu parhaiten nimikkeille, joiden kysyntä on tasaista ja ennakoitavaa — menetelmä ei ratkaise puutteita, joiden juurisyy on toimittajan pitkä toimitusaika tai kysynnän voimakas vaihtelu (Gross & McInnis, 2003, s. 13).

Kitting tarkoittaa kokoonpanossa tarvittavien komponenttien ennakkokeräilyä yhdeksi setiksi ennen kuin työ siirtyy kokoonpanolinjalle. Kittingissä materiaalien keräilyyn liittyvät tehtävät siirretään kokoonpanolinjalta erilliseen keräilyvaiheeseen, mikä voi parantaa materiaalivirran hallintaa ja työpisteiden tehokkuutta (Kilic & Durmusoglu, 2012). Materiaalien saatavuuden näkökulmasta keräilyvaihe toimii tarkistuspisteenä, jossa mahdolliset puutteet havaitaan ennen kokoonpanoa. Kittingin onnistuminen edellyttää kuitenkin tarkkoja varastosaldoja ja ajantasaisia BOM-rakenteita. Näin kitting siirtää puutteiden havaitsemisen linjalta ylävirtaan, jossa korjaustoimenpiteet ovat nopeampia ja edullisempia toteuttaa.

## 4 Puutteiden hallinta häiriötilanteessa

Materiaalipuutteiden ehkäisy ei aina riitä, koska häiriöitä syntyy toimittajaongelmien, kysynnän vaihtelun tai ennakoimattomien tapahtumien seurauksena riippumatta siitä kuinka hyvin asiat suunnitellaan. Kun ehkäisykeinot eivät riitä niin yrityksen kyky reagoida nopeasti ja järjestelmällisesti ratkaisee, kuinka vakavaksi häiriö muodostuu. Tässä luvussa käsitellään reaktiivisia keinoja materiaalipuutteiden hallintaan häiriötilanteessa.

### 4.1 Puutetilanteen tunnistaminen ja priorisointi

Kun materiaalipuute havaitaan, ensimmäinen kriittinen päätös on tunnistaa, mikä komponentti pysäyttää tuotannon ja missä järjestyksessä puutteisiin reagoidaan. Prioriteetti määräytyy sen mukaan, kuinka nopeasti puute vaikuttaa lopputuotteen toimituskykyyn ja asiakaslupauksiin. Kokoonpanotuotannossa BOM-riippuvuus tarkoittaa, että yksittäinenkin puuttuva komponentti voi pysäyttää koko tuotantolinjan, minkä vuoksi puutteiden kriittisyysluokittelu on välttämätön lähtökohta häiriönhallinnalle. Tähän voi käyttää apuna myös ABC-analyysiä, joka on mainittu yhtenä varastonhallinnan puute-ehkäisykeinona.

Materiaalipuutteiden kriittisyyden arvioinnissa tarkastellaan kahta ulottuvuutta: komponenttitasolla arvioidaan, kuinka keskeinen osa on BOM-rakenteen kannalta ja kuinka nopeasti se on korvattavissa, kun taas tilaus- ja asiakastasolla priorisoidaan toimitukset, joilla on tiukimmat deadlinet tai merkittävimmät sopimusvelvoitteet. Kriittisiksi luokitellut puutteet edellyttävät usein tuotantojärjestyksen välitöntä uudelleenarviointia. Vieira ja muut (2003) toteavat, että tuotantoaikatauluja on päivitettävä aina, kun häiriöt tekevät alkuperäisen suunnitelman toteuttamisesta vaikeaa.

## 4.2 Tuotannon uudelleenjärjestely

Komponenttipuutteen ilmetessä osa asiakastilauksista siirretään odottamaan ja tuotantosuunnitelmaa muutetaan. Vieira ja muiden (2003) mukaan tuotannonohjaus reagoi häiriöihin joko päivittämällä olemassa olevaa aikataulua tai käyttämällä dynaamisia sääntöjä, jolloin resurssit ohjataan sille työlle, joka on juuri sillä hetkellä mahdollista suorittaa.

Uudelleenaikataulutukset kohdistetaan vain niihin operaatioihin, joihin häiriö suoraan vaikuttaa, ja tätä kutsutaan osittaiseksi uudelleenaikataulutukseksi (partial rescheduling). Vieira ja muut (2003) osoittavat, että osittainen uudelleenaikataulutus säilyttää alkuperäisen aikataulun mahdollisimman hyvin ja vähentää laskentarasitetta verrattuna koko aikataulun uudelleen luontiin. Tämä tekee siitä paremman vaihtoehdon häiriötilanteissa, joissa nopea reagointi on tärkeää. Uudelleenaikataulutuksen onnistuminen edellyttää kuitenkin laadukasta dataa materiaalien senhetkisestä tilanteesta, sillä mikäli tieto on puutteellista, niin priorisointi perustuu väärin oletuksiin.

## 4.3 Prosessiparametrien säätö

Tuotantomäärän jatkuva seuranta ja sen vertaaminen suunniteltuun tuotantoon mahdollistavat läpimurtovajeen (throughput shortage) tarkan tunnistamisen. Tämä toimii välttämättömänä perustana prosessiparametrien reaktiiviselle säädölle, jonka avulla häiriön aiheuttama vaje voidaan kuroa umpeen seuraavien päivien aikana. Ho ja muut (2019) osoittavat, että vertaamalla päivittäistä tavoitetuotantoa toteutuneeseen määrään voidaan tarkasti määrittellä syntynyt tuotantovaje ja siirtää se osaksi seuraavan päivän tavoitetta. Tämä seurantamekanismi on merkittävä kokoonpanotuotannon näkökulmasta, sillä se ehkäisee keskeneräisen työn hallitsematonta kertymistä ja vähentää siten tarvetta keskeyttää tuotantolinja häiriön seurauksena (Ho ja muut, 2019).

Optimoimalla hallittavissa olevia sykli-aikoja määriteltyjen prosessirajojen puitteissa voidaan tuotantovaje kuroa umpeen hallitusti ilman riskiä laadun heikkenemisestä. Ho

ja muut (2019) osoittavat, että kertyneet tuotantovajeet voidaan kuroa umpeen säättämällä hallittavissa olevia sykliainkoja matemaattisen optimoinnin avulla, mikä mahdollistaa tuotantotavoitteiden saavuttamisen ilman että prosessin nopeutuminen vaarantaa tuotteiden laatua. Tämä säätömekanismi on merkittävä kokoonpanotuotannon näkökulmasta, sillä se tarjoaa varastopuskureita kustannustehokkaamman tavan kuroa tuotantovaje umpeen ilman hallitsematonta keskeneräisen työn kasvua. On kuitenkin huomattava, että (Ho ja muut, 2019) tutkimus on toteutettu puolijohdeteollisuuden kontekstissa, joten löydösten suora soveltaminen muuhun kokoonpanotuotantoon edellyttää harkintaa.

#### **4.4 Pikatilaukset ja hätätoimitukset**

Pikatilaukset vaikuttavat lyhyellä aikavälillä loogiselta ratkaisulta materiaalipuutteesta johtuvan tuotantoseisokin välttämiseksi, sillä niiden ajatellaan olevan kannattavia aina, kun lisäkustannus on pienempi kuin seisokin aiheuttamat menetykset. Pikatilaus voi olla perusteltu erityisesti tilanteissa, joissa seisokin kustannukset voidaan luotettavasti osoittaa merkittävästi pikatilauksen lisäkustannuksia suuremmiksi tai kun vaihtoehtoista toimittajaa ei ole käytettävissä.

Olivares-Aguilan ja ElMaraghyn (2021) tutkimus kuitenkin osoittaa, ettei pikatilausilla saavuteta pitkän aikavälin hyötyjä ja ne voivat jopa nostaa kokonaiskustannuksia ilman todellista parannusta palvelutasoon. Tutkimuksen mukaan yksittäisten toimijoiden pikatilaukset voivat vääristää toimitusketjun kysyntäsignaaleja ja lisätä kysynnän vaihtelun voimistumista eri toimitusportaissa, mikä heikentää koko toimitusketjun tehokkuutta. Tämän vuoksi häiriötilanteessa on usein perustellumpaa aktivoida ennakoivasti rakennettu varatoimittajaverkosto pikatilausten sijaan. Ambulkar ja muut (2015) osoittavat, että vaihtoehtoisten toimittajien aktivointi häiriön sattuessa on keskeinen keino toiminnan jatkuvuuden turvaamiseksi, sillä se tarjoaa yritykselle tarvittavan valikoiman vaihtoehtoja suurivaikutteisten häiriöiden hallintaan. Tämä kytkeytyy suoraan luvussa 3.4 esitettyyn varatoimittajastrategiaan, missä reaktiivinen

hallinta on tehokasta vain silloin, kun sitä tukevat etukäteen rakennetut proaktiiviset toimintamallit.

## **4.5 Sisäinen viestintä ja toipumissuunnitelma**

Häiriötilanteen aikana sisäinen viestintä mahdollistaa häiriön vaikutusten minimoimisen eteenpäin tuotannossa, tuotannon suunnittelussa, ostossa ja tuotannonohjauksessa. Mikäli viestintä ei ole tehokasta, informaatio päätyy vastuuhenkilöille liian myöhään, jolloin puutteiden hallinnasta tulee huomattavasti vaikeampaa. Tässä luvussa käydään läpi poikkeamien raportointia, toimintojen välistä yhteistyötä ja juurisyyanalyysiä.

### **4.5.1 Poikkeamaraportointi ja eskalaatiomalli**

Tehokas poikkeamaraportointi havaitsee ongelman juurisyyn ja estää häiriön toistumisen ja pitkittymisen tehokkailla korjaavilla toimenpiteillä, mikä parantaa poikkeamatilanteessa niin toimitusvarmuutta että vähentää tuotantokatkoksia. Häiriöhallintaprosessi käynnistyy operatiivisella tasolla ennalta määritellyn eskalaatorakenteen mukaisesti poikkeaman havaitsemisella ja sen kriittisyyden raportoinnilla määritellylle tukifunktiolle. Mikäli tilannetta ei voida ratkaista paikallisesti, tieto eskaloituu organisaatiohierarkiassa operatiiviselle johdolle ja taktisille sidosryhmille, mikä aktivoi tarvittavat asiantuntijaresurssit ja korjaavat toimenpiteet.

Rana ja Bamel (2026) osoittavat kehittyvien maiden kontekstissa, että yhteistoiminnallinen viestintä tehostaa kumppaneiden välistä tiedonvaihtoa ja resurssien koordinoitua käyttöä, mikä nopeuttaa häiriöiden tunnistamista ja niistä toipumista. Tämä yhteistoiminnalla saavutettu näkyvyys ja häiriöiden nopea havaitseminen luovat välttämättömän pohjan juurisyyanalyysille, jolloin kerättyä tietoa voidaan hyödyntää tuotantoprosessin pitkäjänteiseen kehittämiseen pelkän lyhyen aikavälin reagoimisen sijaan.

#### **4.5.2 Tuotannon, hankinnan ja myynnin yhteistyö**

Jacobs ja muut (2011, s. 20–26) toteavat, että jos hankinta, tuotanto ja jakelu toimivat häiriötilanteessa toisistaan erillisinä silloina, ne pyrkivät kukin omaan paikalliseen optimointiinsa, mikä johtaa koko yrityksen vastekyvyn halvaantumiseen ja resurssien sitoutumiseen markkinakysyntää vastaamattomiin varastoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa häiriötilanteessa esimerkiksi sitä, että tuotanto jatkaa valmistusta suunnitellun aikataulun mukaisesti, vaikka hankinta tietää tietyn komponentin olevan loppumassa, koska tieto ei kulje osastojen välillä.

Jacobs ja muut (2011, s. 20–26) osoittavat, että siiloutuneen toimintatavan murtaminen vaatii integroituja suorituskykymittareita, kuten kassakierron nopeutta (cash-to-cash cycle time), jotka pakottavat eri funktiot huomioimaan päätöstensä vaikutukset koko toimitusketjun tehokkuuteen ja maksuvalmiuteen. Tämä koordinaatio on häiriötilanteessa tärkeää, sillä se mahdollistaa nopeamman vasteajan ja materiaalien virtausnopeuden säilyttämisen, jolloin yritys välttää pääoman sitoutumisen väärin tuotteisiin ja kykenee palauttamaan asiakaspalvelutasonsa tehokkaammin.

#### **4.5.3 Juurisyyanalyysi**

Mikäli tuotantohäiriön jälkeistä juurisyyanalyysiä ei suoriteta, organisaatio menettää mahdollisuuden systemaattiseen oppimiseen, mikä johtaa saman häiriötyypin uusiutumiseen ja pitkäaikaisen suorituskyvyn heikentymiseen. Häiriöiden perusteellinen analysointi mahdollistaa aiempien kokemusten muuttamisen proaktiivisiksi kyvykkyyksiksi, jolloin yritys kykenee tunnistamaan tulevat riskit paremmin ja mukauttamaan resurssejaan tehokkaasti jo ennen uusia häiriöitä (Ambulkar ja muut, 2015). Tämä systemaattinen kyvykkyyksien kehittäminen on kriittistä yrityksen pitkän aikavälin resilienssille, sillä se mahdollistaa häiriöiden hallinnan proaktiivisesti ja ehkäisee siten tuotantoprosessin toistuvia keskeytyksiä sekä toimitusvarmuuden heikkenemistä.

## 5 Integroitu viitekehys

Tässä luvussa syntetisoidaan tutkielman aiemmissa luvuissa esitetyt havainnot materiaalipuutteiden syistä, ehkäisystä ja hallinnasta kokonaisvaltaiseksi toimintamalliksi. Luvun tavoitteena on vastata asetettuihin tutkimuskysymyksiin esittelemällä integroitu viitekehys, joka huomioi materiaalipuutteen koko elinkaaren aina sen juurisyistä proaktiiviseen ehkäisyyn ja reaktiiviseen toipumiseen. Koska kokoonpanotuotannolle ominainen BOM-riippuvuus tekee tuotantoprosessista haavoittuvan yksittäisillekin häiriöille, on tässä luvussa esitettävän mallin tarkoituksena tarjota työkaluja operatiivisen resilienssin vahvistamiseen.

Luku on jaettu kolmeen osaan. Ensin esitellään materiaalien saatavuuden varmistamisen integroitu viitekehys ja sen sisältämä oppimissilmukka. Tämän jälkeen määritellään keskeiset suorituskykymittarit, kuten OTIF ja saldotarkkuus, joilla toimitusketjun tilasta saadaan laadukasta tietoa päätöksenteon tueksi. Lopuksi luvussa annetaan konkreettisia käytännön suosituksia, joiden avulla yritys voi kehittää materiaalien saatavuutta ja vähentää häiriöiden vaikutuksia.

### 5.1 Materiaalien saatavuuden varmistamisen integroitu viitekehys

Tutkielman teoreettisten ja operatiivisten havaintojen pohjalta on muodostettu integroitu viitekehys (Kuvio 1), joka syntetisoi materiaalipuutteiden koko elinkaaren yhdeksi hallintamalliksi. Viitekehysten tarkoituksena on osoittaa, miten eri hallintakeinot kytkeytyvät toisiinsa ja miten yritys voi siirtyä yksittäisistä reaktiivisista toimista kohti systemaattista ja resilienssiä vahvistavaa toimintatapaa.

Viitekehysten ytimessä on kokoonpanotuotannolle ominainen BOM-riippuvuus, joka toimii koko prosessia ohjaavana rajoitteena. Christopher & Peck (2004) korostavat, että nykyaikaisten toimitusketjujen haavoittuvuus on kasvanut merkittävästi juuri globaalin hankinnan ja tehokkuuden maksimoinnin (”leaning-down”) myötä. Tämä havainto on suoraan kytkettävissä tämän tutkielman keskiöön: kun puskurit karsitaan minimiin,

yksittäisenkin komponentin puute pysäyttää koko tuotantoprosessin. Viitekehys vastaa tähän haasteeseen neljän vaiheen kautta:

- **Syyt:** Häiriöt on jaoteltu ulkoisiin (esim. toimittajaviiveet) ja sisäisiin tekijöihin (esim. saldovirheet), jotka muodostavat materiaali puutteiden alkulähteen.
- **Ehkäisy (Proaktiiviset keinot):** Tämä vaihe sisältää luvussa 3 esitellyt keinot, kuten varastonhallinnan ja MRP-suunnittelun, joilla pyritään minimoimaan riskit ennen häiriön syntymistä.
- **Häiriön hallinta (Reaktiiviset keinot):** Tässä vaiheessa keskitytään luvun 4 mukaisesti nopeaan tunnistamiseen, priorisointiin ja tuotannon uudelleenjärjestelyyn vaikutusten minimoimiseksi.
- **Toipuminen:** Viimeisessä vaiheessa suoritetaan juurisyyanalyysi, jolla varmistetaan, ettei häiriö uusiudu.

Erityisen merkittäväksi viitekehyksessä nousee oppimissilmukka, joka yhdistää toipumisvaiheen takaisin proaktiiviseen ehkäisyyn. Kuten Ambulkar ja muut (2015) osoittavat, häiriöiden perusteellinen analysointi mahdollistaa aiempien kokemusten muuttamisen proaktiivisiksi kyvykkyyksiksi, jolloin yritys kykenee tunnistamaan tulevat riskit paremmin ja mukauttamaan resurssejaan tehokkaasti jo ennen uusia häiriöitä. Tämä muuttaa materiaali puutteiden hallinnan staattisesta reagoinnista dynaamiseksi, resilienssiä vahvistavaksi jatkuvaksi prosessiksi.

Alla oleva kuvio havainnollistaa tätä kokonaisuutta ja eri vaiheiden välistä vuorovaikutusta.



Kuvio 1. Materiaalien saatavuuden varmistamisen integroitu viitekehys

## 5.2 Mittarit

Mittareiden tehtävänä integroidussa viitekehyksessä on tarjota reaaliaikaista ja laadukasta tietoa päätöksenteon tueksi sekä varmistaa, että materiaalipuutteiden ehkäisyyn ja hallintaan valitut keinot tuottavat haluttuja tuloksia. Pelkkä lopputuotteen toimitusvarmuuden seuraaminen ei ole riittävää, vaan mittariston on katettava materiaalivirran eri vaiheet ja datan eheys.

Tutkielman analyysin perusteella keskeisimmät mittarit materiaalipuutteiden hallintaan ovat:

- **Saldotarkkuus (%):** Tämä on viitekehysten kriittisin sisäinen mittari, sillä korkea datan laatu on MRP-järjestelmän toimivuuden ensisijainen edellytys. Jacobs ja muut (2011) korostavat, että jo yksittäinen saldovirhe voi aiheuttaa virheellisiä suunnitelmia, jotka leviävät läpi koko tuoterakenteen ja paljastuvat vasta kokoonpanolinjan pysähtyessä. Siten saldotarkkuus on perusta, jolle kaikki muu suunnittelu rakentuu.

- **OTIF (On-Time In Full):** Toimittajien suorituskykyä mittaava OTIF on välttämätön ulkoisten häiriöiden tunnistamiseen. Se auttaa arvioimaan toimittajien luotettavuutta ja tunnistamaan toimitusketjun pullonkauloja. Tianin ja muiden (2024) mukaan OTIF-seuranta mahdollistaa poikkeamiin reagoimisen ajoissa, esimerkiksi aktivoimalla varatoimittajat ennen kuin viiveet pysäyttävät tuotannon.
- **Palvelutaso (Service Level %):** Mittari kuvaa, kuinka suureen osaan materiaalitarpeista pystytään vastaamaan suunnitellusti ilman viivästystä. Silverin ja muiden (2017) mukaan se on suora osoitus proaktiivisen varastonhallinnan, kuten varmuusvarastojen ja ABC-analyysin onnistumisesta.
- **Läpimenoaika ja sen poikkeamat:** Tuotantovajeen (throughput shortage) ja läpimenoajan jatkuva seuranta mahdollistavat reaktiiviset toimet, kuten prosessiparametrien säädön. Vertaamalla toteutunutta läpimenoa suunniteltuun yritys kykenee tunnistamaan häiriön aiheuttaman vajeen ja kohdistamaan siihen tarvittavat korjaavat toimenpiteet.
- **Kassakierron nopeus (Cash-to-Cash Cycle Time):** Strategisella tasolla kassakierto on tehokas integroitu mittari, joka pakottaa eri toiminnot (hankinta, tuotanto, myynti) yhteistyöhön. Se murtaa funktiosiiloja ja estää paikallisen optimoinnin, joka häiriötilanteissa johtaisi vastekyvyn halvaantumiseen ja pääoman sitoutumiseen väriin varastoihin.

Nämä mittarit muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla yritys voi siirtyä materiaalipuutteiden dynaamiseen hallintaan. Mittarit eivät ainoastaan raportoita tapahtuneista puutteista, vaan ne tarjoavat juuri sitä laadukasta dataa, jota tarvitaan toipumisvaiheen juurisyyanalyysissä ja siitä seuraavassa oppimissilmukassa.

### 5.3 Käytännön suositukset yrityksen resilienssin vahvistamiseksi

Viitekehyksen ja mittariston pohjalta voidaan esittää seuraavat keskeiset suositukset, joiden avulla kokoonpanoyritys voi parantaa materiaalien saatavuutta ja vahvistaa operatiivista resilienssiään:

1. **Priorisoi saldotarkkuus ennen MRP-logiikan laajentamista.** Korkea datan laatu on kriittinen edellytys sille, että toiminnanohjausjärjestelmä kykenee tuottamaan luotettavia suunnitelmia. Jacobs ja muut (2011) painottavat, että ilman tarkkaa fyysisen varaston ja järjestelmätiedon vastaavuutta MRP-järjestelmä tekee virheellisiä tilauksia, jotka johtavat joko materiaalipuutteisiin tai liian suuriin varastoihin. Yrityksen on siksi varmistettava inventointiprosessien laatu perustana kaikelle muulle kehitykselle.
2. **Tunnista ja painota kriittisimmät nimikkeet ABC-analyysillä.** Koska kaikkien nimikkeiden valvonta samalla intensiteetillä on resurssien kannalta tehotonta, yrityksen tulee hyödyntää ABC-analyysia. Erityisesti kokoonpanotuotannon BOM-riippuvuuden vuoksi huomio on kiinnitettävä A-ryhmän nimikkeisiin, joiden puute pysäyttää prosessin herkimmin tai joiden hankinta-aika on pisin.
3. **Rakenna varatoimittajaverkosto ja rekonfigurointikyvykyys ennakoivasti.** Häiriöresilienssi ei synny vasta kriisin sattuessa, vaan se vaatii proaktiivista resurssien valmistelua. Ambulkar ja muut (2015) osoittavat, että yritykset, jotka ovat rakentaneet vaihtoehtoisia toimittajasuhteita ja joustavia prosesseja jo ennen häiriötä, kykenevät toipumaan huomattavasti nopeammin. Tämä sisältää esimerkiksi valmiiksi neuvotellut sopimukset ja tekniset valmiudet siirtävät tuotantoa toiselle taholle.
4. **Luo systemaattinen toipumissuunnitelma ja oppimissilmukka.** Häiriötilanteen päätyttyä on suoritettava perusteellinen juurisyyanalyysi. Tämä on kriittistä, sillä se mahdollistaa tiedon siirtämisen takaisin proaktiiviseen vaiheeseen (oppimissilmukka): jos häiriön huomataan johtuvan esimerkiksi toimittajan kapasiteettihaasteesta, on MRP-parametreja, kuten varmuusvarastoja tai toimitusaikoja päivitettävä välittömästi.

5. **Murra funktiosiiot integroiduilla suorituskykymittareilla.** Yrityksen tulisi ottaa käyttöön mittareita, kuten kassakierron nopeus, jotka pakottavat eri funktiot toimimaan yhteisen tavoitteen eteen. Tämä estää tilanteen, jossa yksi funktio pyrkii paikalliseen optimointiin muiden kustannuksella, mikä on häiriötilanteissa tuhoisaa yrityksen suorituskyvylle.

Noudattamalla näitä suosituksia yritys voi siirtyä pistemäisestä materiaalipuutteiden "tulipalojen sammuttamisesta" kohti hallittua ja jatkuvasti kehittyvää materiaalien saatavuuden varmistamisprosessia.

## 6 Johtopäätökset

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää materiaali puutteiden syitä kokoonpanotuotannossa sekä tunnistaa tehokkaimpia keinoja näiden puutteiden ehkäisemiseksi ja hallitsemiseksi. Työn lopputuloksena muodostettiin integroitu viitekehys, joka korostaa proaktiivisen ja reaktiivisen toiminnan saumatonta yhteistyötä sekä jatkuvan oppimisen merkitystä resilienssin rakentamisessa.

### 6.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tutkielman ensimmäinen tutkimuskysymys (TK1) käsitteli materiaali puutteiden syitä ja niiden ehkäisyä. Tulosten perusteella materiaali puutteet juontavat juurensa sekä ulkoisista tekijöistä, kuten toimittajaviiveistä ja logistiikkahäiriöistä, että merkittävässä määrin sisäisistä tekijöistä, kuten saldovirheistä ja puutteellisesta datan laadusta. Ehkäisykeinoista keskeisimmiksi nousivat strateginen varastonhallinta (ABC-analyysi ja varmuusvarastot) sekä toiminnanohjausjärjestelmän datan laadun varmistaminen. Erityisesti BOM-riippuvuus tekee ehkäisystä kriittistä, sillä yksittäisenkin komponentin puute voi pysäyttää koko kokoonpanolinjan.

Toinen tutkimuskysymys (TK2) keskittyi häiriöiden hallintaan ja niistä toipumiseen. Tulokset osoittavat, että tehokas hallinta vaatii nopeaa häiriöiden tunnistamista, kriittisten tilausten priorisointia ja tuotannon joustavaa uudelleenjärjestelyä. Toipumisvaiheessa keskeisintä on systemaattinen juurisyyanalyysi, joka mahdollistaa häiriöistä oppimisen. Kuten Ambulkar ja muut (2015) toteavat, tämä oppimissilmukka on välttämätön, jotta reaktiivinen kokemus voidaan muuttaa proaktiiviseksi kyvykkyudeksi, mikä ehkäisee vastaavien häiriöiden uusiutumista ja parantaa yrityksen pitkän aikavälin resilienssiä.

## 6.2 Työn rajoitukset

Tutkielman tuloksia arvioitaessa on huomioitava tietyt rajoitukset. Ensinnäkin tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, joten esitettyä integroitua viitekehystä (Kuvio 1) ei ole testattu todellisessa yritysympäristössä. Toiseksi lähdeaineiston painopiste on ollut vahvasti proaktiivisissa menetelmissä, sillä reaktiivisesta häiriönhallinnasta on saatavilla vähemmän systemaattista akateemista tutkimusta verrattuna perinteiseen varastoteoriaan. Tämä johtuu usein siitä, että reaktiivinen toiminta on luonteeltaan tilannesidonnaista, jota on haastavampaa mallintaa yleispätevästi. Lisäksi on huomioitava, että vaikka viitekehys soveltuu hyvin kokoonpanotuotantoon, sen suora sovellettavuus voi vaihdella toimialoittain (esim. elektroniikka vs. raskas koneteollisuus).

## 6.3 Jatkotutkimusaiheet

Tutkielman havainnot avaavat useita mielenkiintoisia polkuja jatkotutkimukselle. Olisi täysin perusteltua toteuttaa case-tutkimus, jossa integroitua viitekehystä testattaisiin käytännössä yhdessä tai useammassa kokoonpanoyrityksessä viitekehysten toimivuuden arvioimiseksi. Toisena tutkimusaiheena voisi olla toimialakohtainen vertailu, jossa selvitettäisiin, miten materiaalipuutteiden hallintakeinot eroavat esimerkiksi lyhyen elinkaaren elektroniikkatuotteiden ja pitkän toimitusajan investointihyödykkeiden välillä. Lisäksi tulevaisuuden tutkimus voisi keskittyä digitaalisten työkalujen, kuten tekoälyn (AI) ja esineiden internetin (IoT), rooliin materiaalivirtojen reaaliaikaisessa seurannassa ja ennakoivassa häiriönhallinnassa. Myös kiertotalouden vaikutuksia tuotantoon ja materiaalipuutteisiin voitaisiin tutkia.

## Lähteet

- Abolghasemi, M., Beh, E., Tarr, G., & Gerlach, R. (2020). Demand forecasting in supply chain: The impact of demand volatility in the presence of promotion. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106380. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106380>
- Ambulkar, S., Blackhurst, J., & Grawe, S. (2015). Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of Operations Management*, 33–34(1), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Clotey, T., & Benton, W. (2024). Synchronizing the Supply of Components for Automotive Assembly amid Chip Shortages and Other Supply Delays. *Production and Operations Management*, 33(9), 1821–1838. <https://doi.org/10.1177/10591478241260432>
- Dolgui, A., & Ivanov, D. (2021). Ripple effect and supply chain disruption management: New trends and research directions. *International Journal of Production Research*, 59(1), 102–109. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1840148>
- Gross, J. M., & McInnis, K. R. (2003). *Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*. AMACOM. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=3001746>
- Ho, K. H., Prakash, J., Kamaruddin, S., & Ong, K. S. (2019). An integrated model for process parameter adjustment to recover throughput shortage in semiconductor assembly: A case study. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 340–355. <https://doi.org/10.3926/jiem.2742>

- Hu, S. J., Zhu, X., Wang, H., & Koren, Y. (2008). Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains. *CIRP Annals*, 57(1), 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.138>
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T. E. (2011). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management* (6th Edition). McGraw-Hill/Irwin.
- Jiang, B., Zhang, J., & Xu, Y. (2025). Impact of Unreliable Supplier on a Supply Chain with Demand-Generating Marketing. *Production and Operations Management*, 34(7), 1616–1631. <https://doi.org/10.1177/10591478241302786>
- Kali, R., Gu, J., & Neuyou, E. (2025). Message in a Bottleneck: Supply Chain Disruptions and Manufacturing Output in the United States. *Global Networks*, 25(4), e70032. <https://doi.org/10.1111/glob.70032>
- Kanyepe, J., Musasa, T., & Wilbert, M. (2025). Supply Chain Risk Factors, Technological Capabilities, and Firm Performance of Small to Medium Enterprises (SMEs). *Journal of Small Business Strategy*, 35(1). <https://doi.org/10.53703/001c.125910>
- Kilic, H. S., & Durmusoglu, M. B. (2012). Design of kitting system in lean-based assembly lines. *Assembly Automation*, 32(3), 226–234. <https://doi.org/10.1108/01445151211244357>
- Michail, N. A., & Melas, K. D. (2025). Measuring the impact of port congestion on containership freight rates. *Maritime Transport Research*, 8, 100130. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2025.100130>
- Mudunuri, L. N. R. (2024). Bill of Materials Management: Ensuring Production Efficiency. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(23s), 1002–1012.

- Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, W. (2021). System dynamics modelling for supply chain disruptions. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1757–1775.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1725171>
- Rana, S., & Bamel, U. (2026). Dynamic Resource-Capability View, Agility, and Resilience in Supply Chain: An Organizational Strategy Perspective. *Logistics*, 10(5), 112.  
<https://doi.org/10.3390/logistics10050112>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., Silver, E. A., & Silver, E. A. (2017). *Inventory and production management in supply chains* (Fourth Edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Tian, Z., Pajić, V., Kilibarda, M., & Andrejić, M. (2024). Enhancing Distribution Efficiency Through OTIF Performance Evaluation. *Mathematics*, 12(21), 3372.  
<https://doi.org/10.3390/math12213372>
- Vieira, G. E., Herrmann, J. W., & Lin, E. (2003). Rescheduling Manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies, and Methods. *Journal of Scheduling*, 6(1), 39–62.  
<https://doi.org/10.1023/A:1022235519958>

## **Liitteet**

### **Liite 1. Ilmoitus tekoälyavusteisten teknologioiden käytöstä kirjoitusprosessissa**

Tämän työn valmistelussa kirjoittaja käytti NotebookLM-ohjelmaa lähteiden lukemiseen ja analysointiin sekä Claude Sonnet 4.6 -kielimallia hakusanojen ja hakustrategian suunnitteluun, tekstin ideointiin ja oikeinkirjoituksen sekä lauserakenteiden tarkistamiseen. Työkalujen käytön jälkeen kirjoittaja tarkisti ja muokkasi sisällön sekä ottaa täyden vastuun julkaisun sisällöstä.